

10/521941
Rec'd PCT/P 21 JAN 2005
PCT/JP 02/12424

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

28.11.02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 9月 9日

REC'D 31 JAN 2003

WIPO

PCT

出願番号

Application Number:

特願2002-262845

[ST.10/C]:

[JP2002-262845]

出願人

Applicant(s):

三洋電機株式会社

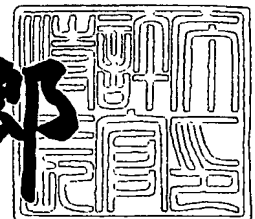
PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 1月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2002-3105760

BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 KAA1020039

【提出日】 平成14年 9月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03K 17/00

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社
社内

 【氏名】 浅野 哲郎

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社
社内

 【氏名】 榊原 幹人

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社
社内

 【氏名】 平井 利和

【特許出願人】

 【識別番号】 000001889

 【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

 【代表者】 桑野 幸徳

【代理人】

 【識別番号】 100111383

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 芝野 正雅

 【連絡先】 電話03-3837-7751 知的財産センター 東京事務所

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 013033

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9904451

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
【発明の名称】 半導体装置
【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に設けた動作領域表面に接続するゲート電極、ソース電極およびドレイン電極と、各電極に接続するゲート端子、ソース端子、ドレイン端子とを有する被保護素子となる F E T と、

前記被保護素子のいずれか 2 つの端子間に並列に接続され、第 1 の高濃度不純物領域と第 2 の高濃度不純物領域の 2 端子間に絶縁領域を配置した保護素子とを有し、

前記被保護素子の 2 つの端子間に印加される静電エネルギーを前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域間で放電させ、前記被保護素子の 2 つの端子に対応する前記 2 つの電極に到達する静電エネルギーを前記 2 つの電極間の静電破壊電圧を超えない程度に減衰させることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】 前記被保護素子の、静電破壊電圧を前記保護素子の接続前と比較して 2 0 V 以上向上させることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】 前記保護素子は、前記被保護素子の端子の少なくとも 1 つと近接して配置することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 4】 前記保護素子は、前記被保護素子の 1 つの端子から該被保護素子の動作領域へ向かう経路途中に接続することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 5】 1 つの前記保護素子は、前記被保護素子の端子と接続するボンディングパッドの少なくとも一辺に沿って配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 6】 前記保護素子は複数設けられ、前記被保護素子の端子と接続する 1 つのボンディングパッドの少なくとも一辺に沿ってそれぞれ配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 7】 前記保護素子は、前記ボンディングパッドの辺に沿って 1 0 μ m 以上の長さで配置されることを特徴とする請求項 5 または請求項 6 に記載

の半導体装置。

【請求項 8】 前記第 1 の高濃度不純物領域は、被保護素子の 1 つの端子と接続するボンディングパッドまたはボンディングパッドに接続する配線と接続することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 9】 前記第 1 の高濃度不純物領域は、前記被保護素子の 1 つの端子と接続するボンディングパッドと前記 1 つの電極とを接続する接続手段の一部であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 10】 前記第 2 の高濃度不純物領域は、前記被保護素子の他の端子と接続するボンディングパッド又は該ボンディングパッドに接続する配線と接続することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 11】 前記第 2 の高濃度不純物領域は、前記被保護素子の他の端子と接続するボンディングパッド又は該ボンディングパッドに接続する配線の、周辺に設けられた第 3 の高濃度不純物領域の一部であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 12】 前記保護素子は、前記被保護素子の他の端子と接続するボンディングパッドにそれぞれ近接して複数設けられ、前記複数の保護素子の第 1 の高濃度不純物領域は、被保護素子の端子と動作領域とを接続する接続手段の一部であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 13】 基板上の動作領域表面に接続するソース電極、ゲート電極およびドレイン電極を設けた第 1 および第 2 の F E T を形成し、両 F E T に共通のソース電極あるいはドレイン電極に接続する端子を共通入力端子とし、両 F E T のドレイン電極あるいはソース電極に接続する端子をそれぞれ第 1 および第 2 の出力端子とし、両 F E T のゲート電極のいずれかに接続する端子をそれぞれ第 1 および第 2 の制御端子とし、前記両制御端子に制御信号を印加して、前記両制御端子と前記ゲート電極とを接続する接続手段である抵抗を介していずれか一方の F E T を導通させて前記共通入力端子と前記第 1 および第 2 の出力端子のいずれか一方と信号経路を形成するスイッチ回路装置を被保護素子とし、

前記被保護素子の少なくとも 1 つの前記制御端子と前記入力端子間に並列に接続され、第 1 の高濃度不純物領域と第 2 の高濃度不純物領域の間に絶縁領域を配

置した保護素子とを有し、

前記少なくとも1つの制御端子と前記共通入力端子間に、外部より印加される静電エネルギーを前記第1および第2の高濃度不純物領域間で放電させ、前記少なくとも1つの制御端子および共通入力端子にそれぞれ対応する電極間に到達する静電エネルギーを前記電極間の静電破壊電圧を超えない程度に減衰させることを特徴とする半導体装置。

【請求項14】 前記共通入力端子と前記1つの制御端子間の静電破壊電圧を前記保護素子の接続前と比較して20V以上向上させることを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【請求項15】 前記被保護素子の少なくとも1つの前記制御端子と少なくとも1つの前記出力端子間に並列に保護素子を接続し、被保護素子の静電破壊電圧を前記保護素子の接続前と比較して20V以上向上させることを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【請求項16】 前記保護素子は、少なくとも前記共通入力端子と近接して配置することを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【請求項17】 前記保護素子は、前記少なくとも1つの制御端子から前記ゲート電極へ向かう経路途中に接続することを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【請求項18】 前記保護素子は、前記共通入力端子が接続するボンディングパッドの少なくとも一辺に沿って配置されることを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【請求項19】 前記保護素子は、前記少なくとも1つの出力端子が接続するボンディングパッドの少なくとも一辺に沿って配置されることを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【請求項20】 前記保護素子は複数設けられ、前記共通入力端子が接続するボンディングパッドの少なくとも一辺に沿ってそれぞれ配置されることを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【請求項21】 前記保護素子は、10 μ m以上の長さで配置されることを特徴とする請求項18または請求項19または請求項20に記載の半導体装置

【請求項 2 2】 前記第 1 の高濃度不純物領域は、前記少なくとも 1 つの制御端子が接続するボンディングパッドまたはボンディングパッドに接続する配線と接続することを特徴とする請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 2 3】 前記第 1 の高濃度不純物領域は、前記少なくとも 1 つの制御端子が接続するボンディングパッドと前記ゲート電極とを接続する抵抗の一部であることを特徴とする請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 2 4】 前記第 2 の高濃度不純物領域は、前記共通入力端子が接続するボンディングパッド又はボンディングパッドに接続する配線と接続することを特徴とする請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 2 5】 前記第 2 の高濃度不純物領域は、前記共通入力端子のボンディングパッド又はボンディングパッドに接続する配線の、周辺に設けられた第 3 の高濃度不純物領域の一部であることを特徴とする請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 2 6】 前記保護素子は、前記共通入力端子が接続するボンディングパッドおよび少なくとも 1 つの前記出力端子が接続するボンディングパッドにそれぞれ近接して複数設けられ、前記複数の保護素子の第 1 の高濃度不純物領域は、前記少なくとも 1 つの制御端子と前記ゲート電極を接続する抵抗の一部であることを特徴とする請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 2 7】 前記被保護素子の静電破壊電圧を 2 0 0 V 以上にすることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 2 8】 前記被保護素子と前記保護素子とを同一チップに集積化することを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 2 9】 前記保護素子の第 1 および第 2 の高濃度不純物領域は静電エネルギーを通すことのできる距離で離間することを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 0】 前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域は 0 . 5 μ m から 1 0 μ m の離間距離で配置されることを特徴とする請求項 2 9 に記載の半導体装置。

【請求項 3 1】 前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域は同じ導電型の不純物領域であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 2】 前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域は異なる導電型の不純物領域であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 3】 前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域の不純物濃度はともに $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 4】 前記絶縁領域は基板に設けられた不純物注入領域であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 5】 前記絶縁領域は半絶縁基板の一部であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 6】 前記絶縁領域の不純物濃度は $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 7】 前記絶縁領域の抵抗率は $1 \times 10^6 \Omega \text{ cm}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 8】 前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域の少なくとも一方は金属電極と接続することを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 3 9】 前記金属電極は、前記被保護素子の端子と接続するボンディングパッドまたは該ボンディングパッドに接続する配線と接続することを特徴とする請求項 3 8 に記載の半導体装置。

【請求項 4 0】 前記金属電極は、前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域の少なくとも一方とオーミック接合を形成することを特徴とする請求項 3 8 に記載の半導体装置。

【請求項 4 1】 前記金属電極は、前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域の少なくとも一方とショットキ接合を形成することを特徴とする請求項 3 8 に記載の半導体装置。

【請求項 4 2】 前記金属電極は、前記絶縁領域端部から $0.1\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ 離間して前記第 1 および／または第 2 の高濃度不純物領域表面に設けられることを特徴とする請求項 4 0 または請求項 4 1 に記載の半導体装置。

【請求項 4 3】 前記金属電極の一部は、前記基板に延在され該基板表面とショットキ接合を形成することを特徴とする請求項 3 8 に記載の半導体装置。

【請求項 4 4】 前記金属電極は、前記第 1 および／または第 2 の高濃度不純物領域上に絶縁膜を介して設けられることを特徴とする請求項 4 3 に記載の半導体装置。

【請求項 4 5】 前記金属電極は第 1 および／または第 2 の高濃度不純物領域端部から $0\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ 外側で前記基板表面とショットキ接合を形成することを特徴とする請求項 3 8 に記載の半導体装置。

【請求項 4 6】 前記 F E T は、M E S F E T、接合型 F E T または H E M T であることを特徴とする請求項 1 または請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 4 7】 前記 F E T の動作層は不純物注入領域であることを特徴とする請求項 1 および請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【請求項 4 8】 前記 F E T の動作層は不純物を含むエピタキシャル層であることを特徴とする請求項 1 および請求項 1 3 に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置、特に静電破壊電圧を大幅に向上させた半導体装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

衛星放送受信機の出現に始まった一般民生用マイクロ波機器市場は、携帯電話の世界的な普及で規模が一挙に拡大し、今新たに、無線ブロードバンド用途の市場が本格的に始まろうとしている。それらの市場には、マイクロ波用に適したガリウム・砒素 (GaAs) デバイス、従来の Si デバイスを微細化、立体構造化して低寄生容量化、低寄生抵抗化を図った Si マイクロ波デバイスが主に使用さ

れている。

【 0 0 0 3 】

図 1 3 は、化合物半導体スイッチ回路装置を示す回路図である。第 1 の F E T 1 と第 2 の F E T 2 のソース電極（あるいはドレイン電極）が共通入力端子 I N に接続され、F E T 1 および F E T 2 のゲート電極がそれぞれ抵抗 R 1、R 2 を介して第 1 と第 2 の制御端子 C t 1 - 1、C t 1 - 2 に接続され、そして F E T 1 および F E T 2 のドレイン電極（あるいはソース電極）が第 1 と第 2 の出力端子 O U T 1、O U T 2 に接続されたものである。第 1 と第 2 の制御端子 C t 1 - 1、C t 1 - 2 に印加される制御信号は相補信号であり、H レベルの信号が印加された側の F E T が O N して、共通入力端子 I N に印加された入力信号をどちらか一方の出力端子に伝達するようになっている。抵抗 R 1、R 2 は、交流接地となる制御端子 C t 1 - 1、C t 1 - 2 の直流電位に対してゲート電極を介して高周波信号が漏出することを防止する目的で配置されている。

【 0 0 0 4 】

図 1 4 は、この化合物半導体スイッチ回路装置を集積化した化合物半導体チップの 1 例を示している。

【 0 0 0 5 】

G a A s 基板にスイッチを行う F E T 1 および F E T 2 を中央部に配置し、各 F E T のゲート電極に抵抗 R 1、R 2 が接続されている。また共通入力端子 I N、出力端子 O U T 1、O U T 2、制御端子 C t 1 - 1、C t 1 - 2 に対応するパッドが基板の周辺に設けられている。なお、点線で示した第 2 層目の配線は各 F E T のゲート電極形成時に同時に形成されるゲート金属層 (T i / P t / A u) 2 0 であり、実線で示した第 3 層目の配線は各素子の接続およびパッドの形成を行うパッド金属層 (T i / P t / A u) 3 0 である。第 1 層目の基板にオーミックに接触するオーミック金属層 (A u G e / N i / A u) は各 F E T のソース電極、ドレイン電極および各抵抗両端の取り出し電極を形成するものであり、図 1 4 では、パッド金属層と重なるために図示されていない。

【 0 0 0 6 】

図 1 4 に示した F E T 1 は一点鎖線で囲まれる長形状の動作領域 1 2 に形成

される。下側から伸びる櫛歯状の 3 本の第 3 層目のパッド金属層 3 0 が出力端子 O U T 1 に接続されるソース電極 1 3 (あるいはドレイン電極)であり、この下に第 1 層目オーミック金属層 1 0 で形成されるソース電極 1 4 (あるいはドレイン電極)がある。また上側から伸びる櫛歯状の 3 本の第 3 層目のパッド金属層 3 0 が共通入力端子 I N に接続されるドレイン電極 1 5 (あるいはソース電極)であり、この下に第 1 層目のオーミック金属層で形成されるドレイン電極 1 4 (あるいはソース電極)がある。この両電極は櫛歯をかみ合わせた形状に配置され、その間に第 2 層目のゲート金属層 2 0 で形成されるゲート電極 1 7 が動作領域 1 2 上に 4 本の櫛歯形状に配置されている。なお、上側から伸びる真中の櫛歯のドレイン電極 1 5 (あるいはソース電極)は F E T 1 と F E T 2 とで共用しており、更に小型化に寄与している。ここで、ゲート幅が $600\mu\text{m}$ という意味は各 F E T の櫛歯状のゲート電極 1 7 のゲート幅の総和がそれぞれ $600\mu\text{m}$ であることをいっている。

【0007】

上述の如く、従来のスイッチ回路装置においては、特に静電破壊を保護する対応がなされていない(例えば、【非特願文献 1】参照。)。

【0008】

【非特許文献 1】

特願 2 0 0 0 - 1 4 1 3 8 7 号

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

図 1 5 に、図 1 4 に示すスイッチ回路装置の静電破壊電圧を測定した結果を示す。ここで、静電破壊電圧の測定は、以下の条件により行ったものである。220 p F の試験用容量の両端に試験用電圧を印加し、試験用容量に電荷を蓄積した後、電圧印加のための配線を遮断する。その後、試験用容量に蓄積された電荷を被試験素子 (F E T) の両端に抵抗成分およびインダクタ成分を付加しない状態で放電し、その後 F E T が破壊していないかどうか測定する。破壊していなければ印加電圧を 1 0 V ずつ上げて試験を繰返し、F E T が破壊に至る最初の印加電圧を静電破壊電圧として測定したものである。

【 0 0 1 0 】

この図からも明らかなように、従来では静電破壊電圧向上のための対策を施していないため、特に制御信号が印加される共通入力端子 I N - 制御端子 C t 1 - 1 間、共通入力端子 I N - 制御端子 C t 1 - 2 間の静電破壊電圧が共に 1 4 0 V しかなく最も低い。

【 0 0 1 1 】

また、静電破壊電圧はどの端子間の値かによりばらつきがある。この静電破壊電圧を決める詳細なメカニズムは不明であるが、スイッチ回路装置においては、最も低い静電破壊電圧を示す 2 端子間の値は、一般的には、上述の如く 1 0 0 V 程度以下であり、取り扱いに細心の注意が必要であった。すなわち、最も低い静電破壊電圧となる端子間の値がその素子全体の静電破壊電圧に支配的となるため、この端子間の静電破壊電圧を向上させることが課題である。

【 0 0 1 2 】

また、この例に限らず、これらのマイクロ波通信用デバイスは、他の音響用、映像用、電源用デバイスと異なり、これらのデバイスに内在するショットキ接合または P N 接合容量が小さく、それらの接合が静電気に弱いという問題があった。

【 0 0 1 3 】

一般に静電気からデバイスを保護するには、静電破壊しやすい、P N 接合、ショットキ接合を含むデバイスに、静電破壊保護ダイオードを並列に接続するという手法が考えられる。しかし、マイクロ波デバイスにおいては、保護ダイオードを接続することによる寄生容量の増加が、高周波特性の劣化を招き、その手法を取ることができなかった。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

本発明は上述した諸々の事情に鑑み成されたもので、第 1 に、基板上に設けた動作領域表面に接続するゲート電極、ソース電極およびドレイン電極と、各電極に接続するゲート端子、ソース端子、ドレイン端子とを有する被保護素子となる F E T と、前記被保護素子のいずれか 2 つの端子間に並列に接続され、第 1 の高

濃度不純物領域と第 2 の高濃度不純物領域の 2 端子間に絶縁領域を配置した保護素子とを有し、前記被保護素子の 2 つの端子間に印加される静電エネルギーを前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域間で放電させ、前記被保護素子の 2 つの端子に対応する前記 2 つの電極に到達する静電エネルギーを前記 2 つの電極間の静電破壊電圧を超えない程度に減衰させることにより、解決するものである。

【 0 0 1 5 】

第 2 に、基板上の動作領域表面に接続するソース電極、ゲート電極およびドレイン電極を設けた第 1 および第 2 の F E T を形成し、両 F E T に共通のソース電極あるいはドレイン電極に接続する端子を共通入力端子とし、両 F E T のドレイン電極あるいはソース電極に接続する端子をそれぞれ第 1 および第 2 の出力端子とし、両 F E T のゲート電極に接続する端子をそれぞれ第 1 および第 2 の制御端子とし、前記両制御端子に制御信号を印加して、前記両制御端子と前記ゲート電極とを接続する接続手段である抵抗を介していずれか一方の F E T を導通させて前記共通入力端子と前記第 1 および第 2 の出力端子のいずれか一方と信号経路を形成するスイッチ回路装置を被保護素子とし、前記被保護素子の少なくとも 1 つの前記制御端子と前記入力端子間に並列に接続され、第 1 の高濃度不純物領域と第 2 の高濃度不純物領域の間に絶縁領域を配置した保護素子とを有し、前記少なくとも 1 つの制御端子と前記共通入力端子間に、外部より印加される静電エネルギーを前記第 1 および第 2 の高濃度不純物領域間で放電させ、前記少なくとも 1 つの制御端子および共通入力端子にそれぞれ対応する電極間に到達する静電エネルギーを前記電極間の静電破壊電圧を超えない程度に減衰させることを特徴とすることにより解決するものである。

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

以下に本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【 0 0 1 7 】

まず、図 1 から図 8 を用いて、本発明の第 1 の実施の形態として G a A s M E S F E T を例に説明する。

【 0 0 1 8 】

図1は、第1の実施形態を示す概要図であり、図1(A)は平面図、図1(B)は図1(A)のA-A線断面図であり、図1(C)は図1(A)の等価回路図である。このように本発明の半導体装置は、被保護素子100と、保護素子200とから構成される。

【0019】

図1(A)(B)のごとく、被保護素子100は、MESFETであり、半絶縁基板101であるGaAs表面に設けた動作層102とショットキ接合を形成するゲート電極105と、動作層102両端に設けた高濃度不純物領域からなるソース領域103およびドレイン領域104と、その表面にオーミック接合を形成するソース電極106およびドレイン電極107とを有する。ここで、各電極が接続する動作層102、ソースおよびドレイン領域103、104をFETの動作領域108と称し、図1(A)では破線で示す。

【0020】

本明細書においては、FET動作領域108内のゲート電極105、ソース電極106、ドレイン電極107は、ゲート配線112、ソース配線113、ドレイン配線114を介してゲートパッドGP、ソースパッドSP、ドレインパッドDPとそれぞれ接続する、とする。また、ゲート配線112、ソース配線113、ドレイン配線114が集束し、対応する各パッドに至る部分をゲート端子G、ソース端子S、ドレイン端子Dと称する。

【0021】

端子について、ここでの図示は省略するが、被保護素子100に、ゲートパッドGP、ソースパッドSP、ドレインパッドDPすべてを具備していなくてもよく、パッドは配置されていないが端子は存在する場合を含むとする。例えば、2個のFETを集積化した2段アンプMMICにおいては、前段FETのドレインと後段FETのゲートには、パッドは存在しないが端子は存在する、というような場合である。

【0022】

各配線112、113、114は金属配線に限らず、N+層による抵抗なども含む。また動作領域108内の各電極に対応する各ボンディングパッドSP、D

P、GPは、一様な配線だけにより接続しているとは限らず、配線途中に抵抗や容量、インダクタなどが挿入されている場合も含む。すなわちDC、AC、高周波、何らかの電氣的信号が、各動作領域内108の電極と相当する各ボンディングパッドの間を伝わる、すべての場合を含むとする。

【0023】

ここでは一例として、ゲート電極105、ソース電極106およびドレイン電極107はそれぞれ金属配線112、113、114により延在されゲートパッドGP、ソースパッドSP、ドレインパッドDPと接続する、とする。

【0024】

MESFETにおいては、ゲートショットキ接合の容量が小さく、ゲート端子Gーソース端子S間またはゲート端子Gードレイン端子D間に、ゲート端子G側をマイナスにしてサージ電圧を印加する場合は最も静電破壊に弱い。この場合、動作領域108と動作領域108表面に設けられたゲート電極105との界面に形成されるショットキバリアダイオード115に対して逆バイアスに静電気が印加される状態となる。

【0025】

図1(B)(C)の如く、GaAsMESFET100において、静電破壊電圧を考えるとゲートショットキ接合は逆バイアス状態である。つまり、そのときの等価回路はゲート端子Gーソース端子S間およびゲート端子Gードレイン端子D間に、ショットキバリアダイオード115が接続された回路となる。

【0026】

静電破壊からの保護は、弱い接合であるゲート電極105のショットキ接合にかかる静電エネルギーを軽減すれば良い。そこで、本実施形態では、MESFET100の2端子間に並列に上記の保護素子200を接続し、対応する2端子間から印加される静電エネルギーに対し、それを一部放電するためのバイパスとなる経路を設けることにより、静電破壊から弱い接合を保護することとした。

【0027】

本実施形態では、図1(A)(C)の如く、ソース端子Sーゲート端子Gの2端子間となるソースパッドSPーゲートパッドGP間と、ドレイン端子Dーゲ

ート端子Gの2端子間となるドレインパッドD P - ゲートパッドG P 間に、保護素子200をそれぞれ並列に接続する。これにより、2端子が接続するボンディングパッドから印加された静電エネルギーを各配線120を使用して、保護素子200内部で、一部放電させることができる。すなわち、静電破壊強度が最も弱いFET動作領域108上の、ゲートショットキ接合に至る静電エネルギーを減少させ、FET100を静電破壊から保護することができる。ここでは、ゲート端子G - ドレイン端子D間、およびゲート端子G - ソース端子S間の両方に保護素子200を接続して放電させるが、どちらか一方だけでもよい。

【0028】

ここで保護素子200について図2を用いて説明する。

【0029】

図2は保護素子を示す概要図である。

【0030】

本明細書における保護素子200とは、図の如く、近接する第1の高濃度不純物領域201と第2の高濃度不純物領域202の2端子間に絶縁領域203を配置した素子である。第1および第2の高濃度不純物領域201、202は、基板201にイオン注入及び拡散により設けられる。本明細書においては、以降これら高濃度不純物領域を、第1N+型領域201、第2N+型領域202として説明するが、これらは同じ導電型の不純物に限らず、異なる導電型の不純物でも良い。第1および第2N+型領域201、202は、静電エネルギーを通せる距離、例えば4 μm 程度離間して設けられ、その不純物濃度は、共に $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。また、第1および第2N+型領域201、202の間には絶縁領域203が当接して配置される。ここで、絶縁領域203とは、電氣的に完全な絶縁ではなく、半絶縁性基板の一部、または基板201に不純物をイオン注入して絶縁化した絶縁化領域である。また、絶縁領域203の不純物濃度は、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以下程度、抵抗率は $1 \times 10^6 \Omega \text{ cm}$ 以上が望ましい。

【0031】

絶縁領域203の両端に当接して高濃度不純物領域201、202を配置し、2つの高濃度不純物領域201、202の離間距離を4 μm 程度にすると、2つ

の高濃度不純物領域 2 0 1、2 0 2 がそれぞれ接続する被保護素子の 2 端子間に向かって外部より印加される静電エネルギーを、絶縁領域 2 0 3 を介して放電することができる。

【0 0 3 2】

この 2 つの N + 型領域の離間距離 $4 \mu\text{m}$ は、静電エネルギーを通すのに適当な距離であり、 $10 \mu\text{m}$ 以上離間すると保護素子間での放電が確実でない。N + 型領域の不純物濃度および絶縁領域の抵抗値も、同様である。

【0 0 3 3】

通常の F E T 動作では静電気のように高い電圧が印加されることがないため、 $4 \mu\text{m}$ の絶縁領域を信号が通ることは無い。またマイクロ波のような高周波でも同様に $4 \mu\text{m}$ の絶縁領域を信号が通ることは無い。従って通常の動作では、保護素子は特性に何ら影響を及ぼさないため、存在しないのと同じである。しかし静電気は瞬間的に高い電圧が印加される現象であり、そのときは $4 \mu\text{m}$ の絶縁領域を静電エネルギーが通り、高濃度不純物領域間で放電する。また絶縁領域の厚みが $10 \mu\text{m}$ 以上になると、静電気にとっても抵抗が大きく放電しにくくなる。

【0 0 3 4】

これら、第 1 N + 型領域 2 0 1 および第 2 N + 型領域 2 0 2 を、被保護素子 1 0 0 の 2 つの端子間に並列に接続する。第 1 および第 2 N + 型領域 2 0 1、2 0 2 はそのまま保護素子 2 0 0 の端子としてもよいし、更に金属電極 2 0 4 を設けても良い。

【0 0 3 5】

図 3 および図 4 に、金属電極 2 0 4 を設ける場合を示す。この金属電極 2 0 4 は、被保護素子である M E S F E T 1 0 0 の端子と接続するボンディングパッド、またはボンディングパッドに接続する配線と接続する。図 3 は、第 1 および第 2 N + 型領域 2 0 1、2 0 2 とショットキ接合を形成する金属電極 2 0 4 であり、図 4 はオーミック接合を形成する金属電極 2 0 4 である。ここでは便宜上、ショットキー接合の金属電極 2 0 4 s、オーミック接合の金属電極 2 0 4 o として説明する。

【0 0 3 6】

図3 (A) は、金属電極204sが、第1N+型領域201および／又は第2N+型領域202表面とショットキ接合を形成するものである。マスク合わせ精度及び両N+領域201、202の抵抗分を考慮し、絶縁領域203端部から0.1 μ mから5 μ m離間して、第1、第2N+型領域201、202表面に設けられる。5 μ m以上離間すると抵抗分が大きく静電気が通りにくくなる。金属電極204sは、第1、第2N+型領域201、202上のみに設けられても良いし、その一部が、半絶縁基板101に延在され基板表面とショットキ接合を形成しても良い。

【0037】

また、図3 (B) (C) の如く、第1、第2N+型領域201、202上に、保護用窒化膜などの縁膜膜205を介して金属電極204sを設けても良い。この場合、金属電極204sは半絶縁基板101上に延在され、基板101を介して第1、第2N+型領域201、202と接続することになる。更に図3 (D) の如く、両N+型領域201、202の上には金属層が設けられず、その外側の半絶縁基板101と金属電極204sがショットキ接合を形成する構造であってもよい。

【0038】

図3 (B) (C) (D) の場合すべて、金属電極204sは第1、および／又は第2N+型領域201、202とは直接接続されない。このように金属電極204sは第1および／または第2のN+型領域201、202端部から0 μ mから5 μ m程度外側で基板とショットキ接合を形成する構造でもよい。すなわち、図3 (B) (C) (D) の如く第1、第2N+型領域201、202と金属電極204sは接する必要はなく、5 μ m以内であれば半絶縁基板を介してN+型領域と金属電極204sとは十分な接続を確保できる。

【0039】

一方図4には、第1及び／又は第2N+型領域とオーミック接合を形成する金属電極204oを示す。

【0040】

金属電極204oは、前記第1および／又は第2N+型領域201、202と

オーミック接合を形成してもよい。半絶縁基板101と金属電極204とはオーミック接合を形成することはできないので、この場合は隣接する基板101上に金属電極204が延在することはない。金属電極204は、被保護素子のボンディングパッド（またはボンディングパッドに接続する配線）120と接続させるが、オーミック接合の場合は、図の如く、他の金属層206を介して金属電極204とパッド（または配線）120と接続させる。

【0041】

オーミック接合の方がショットキ接合より抵抗分が小さく、静電気を通しやすい。その意味ではオーミック接合の方がショットキ接合より静電破壊からの保護効果は大きい。

【0042】

しかしオーミック接合は、オーミック電極金属204が深く基板内部まで拡散することが多く、高濃度層の深さ以上にオーミック電極金属204が達すると、基板の半絶縁領域とオーミック電極金属204が接触することになり、このときは逆に保護素子200自身が静電破壊しやすくなる。

【0043】

例えば第1N+領域201、第2N+領域202ともオーミック接合による金属が設けられ、オーミック接合どうしの距離が $10\mu\text{m}$ として、オーミック電極金属204がN+領域201、202の深さ以上に基板の半絶縁領域まで拡散していたとすると、N+領域の深さより深い部分ではオーミック接合—絶縁領域—オーミック接合の構造ができており、この構造は静電エネルギーに弱いことがわかっているため、このとき保護素子自身が静電破壊してしまう恐れが出てくる。

【0044】

従ってオーミック電極金属204がこれら2つのN+領域の深さ以上に基板の半絶縁領域まで拡散してしまう場合は、ショットキ接合でなければならない、オーミック電極金属204がN+領域の深さにまで達しない場合はオーミック接合の方が保護効果が大きい。

【0045】

また、図 4 (B) の如く、保護素子 2 0 0 の 2 端子が共に同じ金属電極構造である必要はなく、第 1 および第 2 N + 型領域が、それぞれ単独に、図 3 および図 4 に示す構造を有していても良い。更に一方の端子は金属電極 2 0 4 を有し、他方の端子は金属電極 2 0 4 を設けなくても良いが、抵抗分を小さくするためできるだけ設けた方が良く、その分、保護効果が増す。

【 0 0 4 6 】

尚、これら金属電極 2 0 4 は、ボンディングパッドの一部またはボンディングパッドに接続する配線の一部であっても良く、後に詳述するがこれらを利用することで、保護素子 2 0 0 を接続することによるチップ面積の増大を防ぐことができる。

【 0 0 4 7 】

再度図 1 を参照して、上記の保護素子 2 0 0 を M E S F E T 1 0 0 の弱い接合間に並列に接続する一例を示す。

【 0 0 4 8 】

図 1 (A) の保護素子の B - B 線断面図は、図 3 (A) と同様である。このように、本明細書において保護素子 2 0 0 の接続とは、被保護素子 1 0 0 が形成される半絶縁性基板 1 0 1 表面に、 $4\mu\text{m}$ の離間距離をもって第 1 N + 型領域 2 0 1、および第 2 の N + 型領域 2 0 2 を注入・拡散により形成し、第 1 N + 型領域 2 0 1 を F E T の 1 つの端子と接続し、第 2 の N + 型領域 2 0 2 を F E T の他の端子と接続することをいい、被保護素子である M E S F E T 1 0 0 と保護素子 2 0 0 は同一チップに集積化される。尚、基板表面が半絶縁性でない場合は、不純物イオン注入による絶縁化領域 2 0 3 が両 N + 型領域 2 0 1、2 0 2 の間に形成される。

【 0 0 4 9 】

また、本明細書においては特に規定をしない限り、F E T の 1 つの端子であるゲート端子 G に接続する保護素子 2 0 0 の端子を第 1 N + 型領域 2 0 1 とし、他の端子となるソース端子 S およびドレイン端子 D に接続する保護素子 2 0 0 の端子を第 2 N + 型領域 2 0 2 として説明する。つまり、図 1 では、F E T 1 0 0 に接続する保護素子 2 0 0 が 2 つあり、それぞれの第 1 N + 型領域 2 0 1 が金属電

極 2 0 4 を介してゲートパッド G P に接続し、第 2 N + 型領域 2 0 2 が金属電極 2 0 4 を介してドレインパッド D P およびソースパッド S P に接続する。金属電極 2 0 4 と第 1 および第 2 N + 型領域 2 0 1、2 0 2 はショットキ接合を形成し、金属電極 2 0 4 の一部は半絶縁基板 1 0 1 に延在され基板表面とショットキ接合を形成する。尚金属電極 2 0 4 の構造は、一例であり図 3 および図 4 のいずれであってもよい。

【 0 0 5 0 】

すなわち、この保護素子 2 0 0 は、各パッドに接続する配線 1 2 0 を介して 1 つの端子となる第 1 N + 型領域 2 0 1 をゲートパッド G P に、もう 1 つの端子となる第 2 N + 型領域 2 0 2 をソースパッド S P およびドレインパッド D P に接続しており、F E T の接合であるゲート端子 G - ソース端子 S 間およびゲート端子 G - ドレイン端子 D 間に並列に接続されている。

【 0 0 5 1 】

これにより、ゲート端子 G - ソース端子 S 間およびゲート端子 G - ドレイン端子 D 間に印加された静電エネルギーを、保護素子 2 0 0 により一部放電させることができる。つまり、静電破壊強度が最も弱い F E T 動作領域上のゲートショットキ接合に至る静電エネルギーを大きく減衰させ、F E T を静電破壊から保護することができる。放電させるのはゲート端子 G - ソース端子 S 間、およびゲート端子 G - ドレイン端子 D 間である。またどちらか一方でもよい。つまり、この構造により、保護素子を用いない従来構造と比較して、F E T の静電破壊電圧を大幅に向上させることができる。

【 0 0 5 2 】

従来では、ゲート端子 G - ソース端子 S 間およびゲート端子 G - ドレイン端子 D 間に印加された静電エネルギーは、動作領域 1 0 8 に 1 0 0 % 伝わっていたが、本発明によれば、各配線またはボンディングパッドを利用して、静電エネルギーを一部保護素子 2 0 0 にバイパスさせ、保護素子 2 0 0 内部で放電させることができる。これにより動作領域 1 0 8 に伝わる静電エネルギーを、動作領域 1 0 8 のゲート電極 - ソース電極間およびゲート電極 - ドレイン電極間の静電破壊電圧を越えない程度に減衰させることができる。

【 0 0 5 3 】

図 5 には、保護素子の 1 つの端子の金属電極にボンディングパッドを利用した例を示す。図 5 (A) は平面図であり、図 5 (B) は、C-C 線断面図である。

【 0 0 5 4 】

図 1 では、ソースパッド S P およびドレインパッド D P から配線 1 2 0 を引き出し、その配線 1 2 0 に保護素子 2 0 0 を接続した例を示した。図 5 では、ソースパッド S P およびドレインパッド D P 周辺に、各ボンディングパッドのショットキ金属層 2 1 0 とショットキ接合を形成する第 2 N + 型領域 2 0 2 を設けて、ソースパッド S P 、ドレインパッド D P の一部を第 2 N + 型領域 2 0 2 に接続する金属電極 2 0 4 として利用する構造である。

【 0 0 5 5 】

第 1 N + 型領域 2 0 1 は、第 2 N + 型領域 2 0 2 と近接するように配置され、ゲートパッド G P に接続する配線 1 2 0 と接続させる。このように、F E T の他の端子と接続するソースパッド S P 、ドレインパッド D P に直接第 2 N + 型領域 2 0 2 を接続し、各パッドに近接して保護素子 2 0 0 を配置すると、ソース、ドレインパッド S P 、D P から直接保護素子 2 0 0 に静電エネルギーを放電できるため静電破壊電圧を向上させる効果が大きく、更にパッド周辺のスペースを有効利用できるため、保護素子 2 0 0 を追加することによるチップ面積の増大を防ぐことができる。

【 0 0 5 6 】

また図示はしないが、ゲートパッド G P に直接第 1 N + 領域 2 0 1 を接続し、更に第 2 N + 型領域 2 0 2 は第 1 N + 型領域 2 0 1 と近接するように配置し、且つソースパッド S P 、ドレインパッド D P に接続する配線 1 2 0 と接続させると、ゲートパッドから直接保護素子 2 0 0 に静電エネルギーを放電でき、同様に静電破壊電圧を向上させる効果が大きく、保護素子 2 0 0 の追加によるチップ面積の増大も防げる。

【 0 0 5 7 】

図 6 は、信号経路途中に保護素子 2 0 0 を接続したものである。上述の如くゲート電極 1 0 5 のショットキ接合が最も静電破壊に弱く、実際に破壊するのは動

作領域 1 0 8 のゲート電極 1 0 5 部分が最も多い。そこで、図 6 の如くゲート端子 G から動作領域 1 0 8 のゲート電極 1 0 5 に至る信号経路途中で保護素子 2 0 0 を接続することで、最も効果的に静電破壊から保護することができる。

【 0 0 5 8 】

この場合、第 1 N + 型領域 2 0 1 は、ゲートパッド G P から動作領域 1 0 8 に至るゲート配線 1 1 2 の一部に接続する。第 2 N + 型領域 2 0 2 は、ソースパッド S P およびドレインパッド D P または各パッドに接続する配線 1 2 0 と接続する。例えば図 6 のゲート－ソース間では、第 2 N + 型領域 2 0 2 を第 1 N + 型領域 2 0 1 と近接して配置するため、第 2 N + 型領域 2 0 2 の部分までソースパッド S P から配線 1 2 0 が延在される。

【 0 0 5 9 】

例えば、ゲート配線 1 1 2 をソースパッド S P またはドレインパッド D P に近接するように引き回して動作領域 1 0 8 に接続すれば、信号経路途中で、しかも F E T のパッドに近接して保護素子 2 0 0 を接続することができ、静電エネルギーからの保護により効果的である。

【 0 0 6 0 】

ここで、図 7 を用いて F E T 1 0 0 と同一基板に集積化される保護素子 2 0 0 の種類について説明する。上述の F E T 1 0 0 の動作領域 1 0 8 は、以下の構造のいずれでも良い。図 7 (A) から図 7 (D) の各図において、左図が F E T の動作領域 1 0 8 であり、右図が保護素子 2 0 0 である。

【 0 0 6 1 】

まず図 7 (A) の如く、半絶縁性基板 1 0 1 にイオン注入により例えば N 型の動作層 1 0 2 を設け、その両端に N + 型のソース領域 1 0 3 およびドレイン領域 1 0 4 を形成して動作領域 1 0 8 とする。更にソース領域 1 0 3、ドレイン領域 1 0 4 の上にオーミック電極としてソース電極 1 0 6、ドレイン電極 1 0 7 を設け、N 型の動作層 1 0 2 にショットキ接合するゲート電極 1 0 5 を設けた M E S F E T である。この場合保護素子 2 0 0 の 2 端子 2 0 1、2 0 2 は、動作領域 1 0 8 のソース領域 1 0 3 およびドレイン領域 1 0 4 と同時に形成すると工程を簡素化できるため好ましく、半絶縁性基板 1 0 1 上に 4 μ m 離間して配置する。保

保護素子は、第1 N + 型領域 2 0 1 - 半絶縁領域 2 0 3 a - 第2 N + 型領域 2 0 2 の構造である。この場合の保護素子 2 0 0 はゲートショットキ接合を静電破壊から保護する。

【 0 0 6 2 】

図 7 (B) の F E T は、半絶縁性基板 1 0 1 にイオン注入により例えば N 型の動作層 1 0 2 を設け、その両端に N + 型のソース領域 1 0 3 およびドレイン領域 1 0 4 を形成して動作領域 1 0 8 とする。ソース領域 1 0 3 、ドレイン領域 1 0 4 の上にオーミック電極としてソース電極 1 0 6 、ドレイン電極 1 0 7 を設け、N 型の動作層 1 0 2 内に形成した P + 型のゲート領域 1 0 9 にオーミック接合するゲート電極 1 0 5 を設けた接合型 F E T である。この場合、保護素子 2 0 0 の 2 端子 2 0 1 、 2 0 2 は、動作領域 1 0 8 のソース領域 1 0 3 およびドレイン領域 1 0 4 と同時に形成すると工程を簡素化できるため好ましく、半絶縁性基板 1 0 1 上に 4 μ m 離間して配置する。保護素子 2 0 0 は、第1 N + 型領域 2 0 1 - 半絶縁領域 2 0 3 a - 第2 N + 型領域 2 0 2 の構造である。この場合、保護素子はゲート P N 接合を静電破壊から保護する。

【 0 0 6 3 】

図 7 (C) の F E T の動作層 1 0 2 は、半絶縁性基板 1 0 1 上に例えば N 型エピタキシャル層を積層した動作層 1 0 2 であり、その両側に N + 型不純物を注入してソース領域 1 0 3 およびドレイン領域 1 0 4 を形成する。ソース領域 1 0 3 、ドレイン領域 1 0 4 の上にオーミック電極としてソース電極 1 0 6 、ドレイン電極 1 0 7 を設け、N 型の動作層 1 0 2 にショットキ接合するゲート電極 1 0 5 を設けた M E S F E T である。隣接する他の素子とは不純物注入による絶縁化層 1 2 5 で分離する。この場合、同一チップに集積化される保護素子 2 0 0 表面も N 型エピタキシャル層であるので、第1 および第2 N + 型領域の間は、不純物注入層による絶縁化領域 2 0 3 b とする。両端子の外側も絶縁のため同じく不純物注入による絶縁化層 1 2 5 で分離する。保護素子の絶縁化領域 2 0 3 b と素子分離の絶縁化層 1 2 5 は同一工程により形成するとよい。又、第1 および第2 N + 型領域 2 0 1 、 2 0 2 は動作領域 1 0 8 のソースおよびドレイン領域と同時に形成すると良い。保護素子は、第1 N + 型領域 2 0 1 - 絶縁領域 2 0 3 b - 第2 N

+型領域 2 0 2 の構造である。この場合、保護素子はゲートショットキ接合を静電破壊から保護する。

【 0 0 6 4 】

図示はしないが、上記 N 型エピタキシャルの動作層内に P + 型のゲート領域を形成し、そこにオーミック接合するゲート電極を設けた接合型 F E T も、図 7 (B) と同様に考えられる。この場合、保護素子はゲート P N 接合を静電破壊から保護する。

【 0 0 6 5 】

更に図 7 (D) の如く、M E S F E T、接合型 F E T に限らず、H E M T (H i g h E l e c t r o n M o b i l i t y T r a n s i s t o r) でも良い。

【 0 0 6 6 】

すなわち、半絶縁性基板 1 0 1 に、N + + A l G a A s 層 1 0 1 a、ノンドープ I n G a A s 層 1 0 1 b、N + + A l G a A s 層 1 0 1 c を順次積層した構造である。複数の層からなる動作層 1 0 2 の両端に設けられた N + 型のイオン注入によるソース領域 1 0 3 およびドレイン領域 1 0 4 の上に、オーミック電極としてソース電極 1 0 6、ドレイン電極 1 0 7 を設け、動作層表面にショットキ接合するゲート電極 1 0 5 を設ける。隣接する他の素子とは不純物注入による絶縁化層 1 2 5 により絶縁される。また、図 7 (D) 右図の如く、同一チップに集積化される保護素子 2 0 0 表面も同様の基板構造であるので、保護素子は、ソース領域 1 0 3 およびドレイン領域 1 0 4 と同時に形成した第 1 および第 2 N + 型領域の間に絶縁化領域 2 0 3 b を設けた構造である。更に両端子の外側も絶縁のため同じく不純物注入による絶縁化層 1 2 5 で分離する。保護素子の絶縁化領域 2 0 3 b と素子分離の絶縁領域 1 2 5 は同一工程にて形成するとよい。また、第 1 および第 2 N + 型領域は動作領域 1 0 8 のソースおよびドレイン領域と同時に形成すると良い。この場合、保護素子はゲートショットキ接合を静電破壊から保護する。

【 0 0 6 7 】

ここで、F E T ではゲートショットキ接合、及びゲート P N 接合が最も静電破

壊に弱いため、ゲート端子Gーソース端子S間、ゲート端子Gードレイン端子D間に保護素子を接続する一例を示したが、ソース端子Sードレイン端子D間に保護素子を並列に接続してもよい。

【0068】

図8には、その概念図を示す。接続例は一例である。例えばこの場合、ソースパッドSPに接続する保護素子の端子を第2N+型領域202とし、ドレインパッドDPに接続する保護素子200の端子を第1N+型領域201とする。第2N+型領域は、パッド周辺に設けられ、ソースパッドSPを金属電極204として利用している。

【0069】

この等価回路図は図8(B)である。この場合、ゲート端子Gーソース端子S間のショットキバリアダイオードとゲート端子Gードレイン端子D間のショットキバリアダイオードが直列に接続したものを保護している。これは、例えばスイッチ回路装置のようにソース電極とドレイン電極が両方とも入出力端子として信号の出入り口になっている場合などに、この保護素子の接続は効果がある。

【0070】

一般にGaAsMESFETは衛星放送、携帯電話、無線ブロードバンド用など、GHz帯以上のマイクロ波用途に用いられる。従って良好なマイクロ波特性を確保するため、ゲート長もサブミクロンオーダーとなっており、ゲートショットキ接合容量が極めて小さく設計されている。そのため静電破壊に非常に弱く、GaAsMESFETを集積化したMMICを含め、その取り扱いに細心の注意が必要であった。さらに、音響、映像、電源用など周波数の低い一般民生用半導体において、静電破壊電圧を上げるため広く採用されている保護ダイオードは、PN接合を有するため、その使用により寄生容量が最小でも数百fF以上と大きく増加してしまうため、GaAsMESFETのマイクロ波特性を大きく劣化させ、使用できなかった。

【0071】

しかし本発明の静電破壊保護素子200はPN接合がなく、容量は大きくても数十fF以下となるため、GaAsMESFETのマイクロ波特性を全く劣化さ

せることなく、静電破壊電圧を大きく向上させることができるものである。

【0072】

次に、図9および図10を参照して、本発明の第2の実施形態について説明する。

【0073】

第2の実施形態は、上記の保護素子200を接続したFETを用いたスイッチ回路装置の一例である。

【0074】

図9は、被保護素子となる化合物半導体スイッチ回路装置100を示す回路図である。第1のFET1と第2のFET2のソース電極（あるいはドレイン電極）が共通入力端子INに接続され、FET1およびFET2のゲート電極がそれぞれ抵抗R1、R2を介して第2と第1の制御端子Ct1-1、Ct1-2に接続され、そしてFET1およびFET2のドレイン電極（あるいはソース電極）が第1と第2の出力端子OUT1、OUT2に接続されたものである。第1と第2の制御端子Ct1-1、Ct1-2に印加される制御信号は相補信号であり、Hレベルの信号が印加された側のFETがONして、共通入力端子INに印加された入力信号をどちらか一方の出力端子に伝達するようになっている。抵抗R1、R2は、交流接地となる制御端子Ct1-1、Ct1-2の直流電位に対してゲート電極を介して高周波信号が漏出することを防止する目的で配置されている。

【0075】

図9に示す回路は、図14に示すGaAs FETを用いたSPDT(Single Pole Double Throw)と呼ばれる化合物半導体スイッチ回路装置の2つのFETのゲート-ソース端子およびゲート-ドレイン端子間に並列に保護素子200を接続したものである。制御端子Ct1-1は、FET1のゲート電極に接続し、制御端子Ct1-2はFET2のゲート電極に接続しており、Ct1-1とIN間、およびCt1-2とIN間、Ct1-1とOUT1間およびCt1-2とOUT2間に、それぞれ保護素子200が接続されている。

【0076】

図10は、図9に示すスイッチ回路装置を1チップに集積化した平面図を示す。

【0077】

GaAs基板101にスイッチを行うFET1およびFET2を中央部に配置し、各FETのゲート電極317に抵抗R1、R2が接続されている。また共通入力端子IN、出力端子OUT1、OUT2、制御端子Ctl-1、Ctl-2に対応するパッドINPad、OUT1Pad、OUT2Pad、Ctl-1Pad、Ctl-2Padが基板の周辺でFET1およびFET2の周囲にそれぞれ設けられている。なお、点線で示した第2層目の配線は各FETのゲート電極317形成時に同時に形成されるゲート金属層(Ti/Pt/Au)320であり、実線で示した第3層目の配線は各素子の接続およびパッドの形成を行うパッド金属層(Ti/Pt/Au)330である。第1層目の基板にオーミックに接触するオーミック金属層(AuGe/Ni/Au)は各FETのソース電極、ドレイン電極および各抵抗両端の取り出し電極を形成するものであり、図10では、パッド金属層と重なるために図示されていない。

【0078】

図10に示したFET1は一点鎖線で囲まれる動作領域312に形成される。下側から伸びる櫛歯状の3本の第3層目のパッド金属層330が出力端子OUT1に接続されるソース電極313（あるいはドレイン電極）であり、この下に第1層目オーミック金属層で形成されるソース電極（あるいはドレイン電極）がある。また上側から伸びる櫛歯状の3本の第3層目のパッド金属層330が共通入力端子INに接続されるドレイン電極315（あるいはソース電極）であり、この下に第1層目のオーミック金属層で形成されるドレイン電極（あるいはソース電極）がある。この両電極は櫛歯をかみ合わせた形状に配置され、その間に第2層目のゲート金属層320で形成されるゲート電極317が動作領域312上に5本の櫛歯形状に配置されている。なお、上側から伸びる真中の櫛歯のドレイン電極315（あるいはソース電極）はFET1とFET2とで共用しており、更に小型化に寄与している。ここで、ゲート幅が600 μ mという意味は各FETの櫛歯状のゲート電極317のゲート幅の総和がそれぞれ600 μ mであること

をいっている。

【0079】

FET1のゲート電極と制御端子Ct1-1は抵抗R1で接続され、FET2のゲート電極と制御端子Ct1-2は抵抗R2で接続されている。抵抗R1および抵抗R2は、基板に設けられたN+型不純物拡散領域である。

【0080】

前述の如くFETにおいて、最も静電破壊電圧が低いのはゲート端子Gと動作層102とのショットキ接合部分である。つまり、ゲートドレイン端子間、又はゲートソース端子間に印加された静電エネルギーが、ゲートショットキ接合に到達したとき、到達した静電エネルギーがゲート電極とソース電極間、またはゲート電極とドレイン電極間の静電破壊電圧を上回る場合、ゲートショットキ接合が破壊に至る。

【0081】

ここで、FET1側とFET2側は対称であり、全く同様であるので、FET1側を例に説明する。図14に示す従来のスイッチ回路装置においては、共通入力端子IN-制御端子Ct1-1間の静電破壊電圧が140Vと最も低い。つまり、共通入力端子IN-制御端子Ct1-1間に印加された静電エネルギーがFET1のゲート電極317-ドレイン電極315間、又はゲート電極317-ソース電極313間に到達する前に、その到達過程において、静電エネルギーを減衰させれば良い。

【0082】

静電エネルギーを減衰させる1つの方法として、R1の抵抗値を大きくする方法が考えられるが、R1を大きくし過ぎると、スイッチ回路装置のスイッチング時間が大きくなり過ぎる。そこで、本実施形態においては保護素子200を用いて静電エネルギーを減衰させることとした。

【0083】

ここで、前述の如く抵抗R1はN+型不純物領域で形成されている。また、各パッドの周辺には、各パッドから高周波信号が漏れないよう、アイソレーション対策として、第3の高濃度不純物領域であるパッド周辺N+領域350が配置さ

れている。各パッドの一番下のゲート金属層320は図10(B)の断面図の如くGaAs半絶縁性基板とショットキ接合を形成しており、その周辺N+領域350と各パッドはショットキ接合を形成している。

【0084】

つまり、抵抗をR1を共通入力端子パッドINPadに近接して配置することにより、抵抗R1を構成するN+型領域と近接するパッド周辺N+型領域350の離間距離は4 μ mとなり、半絶縁性基板101を挟んで保護素子200となる。抵抗R1の一部が第1N+型領域201であり、共通入力端子パッドINPad周辺のN+領域350の一部が第2N+型領域202である。すなわち、共通入力端子IN-制御端子Ct1-1間、つまりFET1のソースゲート端子間（又はドレインゲート端子間）に並列に保護素子200を接続したことになる。

【0085】

また、共通入力端子パッドINPadに近接し、尚且つ信号が印加される制御端子パッドから動作領域に至る経路途中に接続できる。これにより、スイッチ回路装置に印加された静電エネルギーを動作領域到達前に減衰させることができる。

【0086】

ここで、保護素子200がパッドに添って近接している距離は長い方がより多くの静電エネルギーを減衰させることができるため、10 μ m以上が望ましい。図10では、保護素子200は、共通入力端子パッドINPad1辺に添って配置した図を示したが、例えば抵抗R1の配置を変えて、共通入力端子パッドINPadの2辺に添ってL字形状に配置すれば、パッドと近接して配置する保護素子200の長さを稼げるので静電エネルギーの減衰により効果的である。

【0087】

後に詳述するが、上記の如くスイッチ回路装置の共通入力端子IN-制御端子Ct1-1間および共通入力端子IN-制御端子Ct1-2間に、並列に保護素子200を接続することにより、これらの端子間の静電破壊電圧を700Vまで向上させることができる。

【 0 0 8 8 】

第 1 の実施形態の如くゲート電極—ゲートパッド間に抵抗が無い場合は、ゲート長 $0.5 \mu\text{m}$ 、ゲート幅 $600 \mu\text{m}$ の FET であれば、ゲート—ソース間やゲート—ドレイン間の静電破壊電圧を測定すると 50 V 程度以下である。すなわち FET の動作領域上のゲートショットキ接合そのものの静電破壊電圧の実力値は 50 V 程度以下といえる。

【 0 0 8 9 】

第 2 の実施形態の FET もゲート長 $0.5 \mu\text{m}$ 、ゲート幅 $600 \mu\text{m}$ であり、通常この FET のゲートショットキ接合の静電破壊電圧も 50 V 程度以下である。しかし、スイッチ回路装置には必ず第 2 の実施形態のようなゲート電極—ゲートパッド（この場合制御端子パッド）間の抵抗 R_1 、 R_2 が存在する。この抵抗 R_1 、 R_2 で、静電エネルギーが一部熱となって消費されるため、スイッチ回路装置として共通入力端子 IN —制御端子 $\text{Ct}1-1$ 間（以下共通入力端子 IN —制御端子 $\text{Ct}1-2$ 間も同様）の静電破壊電圧を測定すると、保護素子 200 を接続しなくても多少静電破壊電圧は向上し、 100 V 程度以下となる。

【 0 0 9 0 】

そこにさらに保護素子 200 を並列に接続すると、静電エネルギーがバイパスされ保護素子 200 で放電される。つまり、保護素子 200 により放電される静電エネルギー分が更に追加で、共通入力端子 IN —制御端子 $\text{Ct}1-1$ 間に印加されても、動作領域 312 が静電破壊することはなくなり、保護素子 200 により放電する分だけ、静電破壊電圧の測定値が大きくなり 200 V 以上となる。

【 0 0 9 1 】

換言すれば、共通入力端子 IN —制御端子 $\text{Ct}1-1$ 間に印加される静電エネルギーを、抵抗 R_1 で一部熱として消費しながら、さらに保護素子 200 での放電により消費し、動作領域 312 に達するまでに、動作領域 312 の破壊電圧以下まで減衰することができる。

【 0 0 9 2 】

図 11 には、第 2 の実施形態である図 10 のスイッチ回路装置の静電破壊耐圧を測定した結果を示す。これによると、共通入力端子 IN —制御端子 $\text{Ct}1-1$

間および共通入力端子 I N - 制御端子 C t 1 - 2 間の静電破壊電圧が 7 0 0 V となり、従来の同じ端子間で 1 4 0 V であったことと比較すると大幅に向上している。

【 0 0 9 3 】

このメカニズムを、F E T の動作領域 3 1 2 の静電破壊電圧の実力値が例えば 5 0 V として説明する。

【 0 0 9 4 】

F E T の動作領域 3 1 2 は上述の如く 5 0 V で破壊する。また、従来は、共通入力端子 I N - 制御端子 C t 1 - 1 間の静電破壊電圧は、図 1 5 に示す 1 4 0 V である。これは、保護素子 2 0 0 を設けず、共通入力端子 I N - 制御端子 C t 1 - 1 間に印加される静電エネルギーが一部抵抗 R 1 で減衰しながら動作領域 3 1 2 に達する場合の値である。つまり $140 - 50 = 90$ V 分の静電エネルギーが、ゲート電極 3 1 7 - 制御端子パッド C t 1 - 1 P a d 間の抵抗 R 1 で、熱として消費され、F E T の動作領域 3 1 2 に 5 0 V が印加された時点で F E T のショットキ接合が破壊していたことになる。

【 0 0 9 5 】

第 2 の実施形態では、図 1 1 の如く共通入力端子 I N - 制御端子 C t 1 - 1 間で、静電破壊電圧を測定したとき 7 0 0 V で破壊する。F E T の動作領域 3 1 2 のショットキ接合は 5 0 V で破壊し、ゲート電極 3 1 7 - 制御端子パッド C t 1 - 1 P a d 間の抵抗 R 1 で、熱として消費される静電エネルギーは 9 0 V 分であり、これは従来同様である。

【 0 0 9 6 】

すなわち、 $700 - 50 - 90 = 560$ V 分の静電エネルギーが保護素子 2 0 0 で放電され、これも熱となって消費されたことになる。つまり、第 2 の実施形態のパターンによれば、動作領域 3 1 2 のショットキ接合の静電破壊電圧分 + 抵抗 R 1 での減衰分を越えた分 (5 6 0 V) を保護素子 2 0 0 で放電でき、動作領域 3 1 2 に至るまでに静電エネルギーを減衰できるので、静電破壊電圧が 7 0 0 V まで向上したといえる。

【 0 0 9 7 】

ここで、共通入力端子パッドINPad、制御端子Ct1-1パッド、Ct1-2パッド、出力端子OUT1パッド、OUT2パッドおよび両FETの動作領域312を除くゲート電極の周端部の下にも、一点破線で示す如く周辺N+型領域350が設けられている。周辺N+型領域350は周端部だけでなく、各パッドおよび両FETの動作領域を除くゲート電極317直下全面に設けられてもよい。これら周辺N+型領域350は、ソースおよびドレイン領域形成と同時に形成されたものであり、これら周辺N+型領域350および抵抗R1、R2が互いに隣接する部分の離間距離は4 μ mとなっている。

【0098】

つまり、これらの周辺N+型領域350と抵抗R1、R2とを保護素子200の両端子として、同一チップ内に複数接続することができる。保護素子200の端子は、金属電極を介してボンディングパッドと接続しても良いし、ボンディングパッドと動作領域312とを接続する抵抗R1、R2などの配線そのものであっても良い。

【0099】

図10の例えばFET1側では、抵抗R1を、共通入力端子パッドINPadの近傍と、出力端子パッドOUT1Padの近傍を通るように配置している。これにより、FET1のゲートドレイン端子間、ゲートソース端子間の両方に保護素子200が接続されたことになり、スイッチ回路装置の最低の静電破壊電圧を向上させることができる。

【0100】

図11によれば、制御端子Ct1-1-出力端子OUT1間および制御端子Ct1-2-出力端子OUT2間の静電破壊電圧は330Vである。静電破壊電圧を決めるメカニズムの詳細はまだ不明の部分が多く、この端子間において静電破壊電圧が従来より低減する理由は明らかでない。しかし、重要なポイントは、被保護素子全体の静電破壊電圧は、当該被保護素子の2端子間の組み合わせのうち、最も低い静電破壊電圧に支配されるため最低の静電破壊電圧値をどこまで上げることができるかである。

【0101】

本実施形態に於いては、従来最も低い静電破壊電圧であった共通入力端子IN-制御端子Ct1-1間および共通入力端子IN-制御端子Ct1-2間に保護素子を並列に接続することにより、静電破壊電圧を700Vに向上することができる。

【0102】

加えて、制御端子Ct1-1-出力端子OUT1間および制御端子Ct1-2-出力端子OUT2間にも保護素子を接続することにより、従来の最低静電破壊電圧であった140Vが330Vに向上しており、スイッチ回路装置全体として、静電破壊電圧を向上できる効果がある。

【0103】

また、図12に第3の実施形態を示す。図12は、図10の化合物半導体スイッチ回路装置のリバースコントロールタイプのロジックパターンの回路構成であり、制御端子Ct1-1は、FET2のゲート電極に接続し、制御端子Ct1-2はFET1のゲート電極に接続する。

【0104】

このスイッチ回路のロジックでは、出力端子OUT1に信号を通すときには出力端子OUT1から遠い制御端子Ct1-2に例えば3V、制御端子Ct1-1に0Vを印加し、逆に出力端子OUT2に信号を通すときには出力端子OUT2から遠い制御端子Ct1-1に3V、Ct1-2に0Vのバイアス信号を印加している。

【0105】

このリバースコントロールタイプのスイッチ回路装置においては、入力端子IN-制御端子Ct1-2間に保護素子200を接続する。これにより、例えば接続前に80Vと最も低い静電破壊電圧であった2端子間の静電破壊電圧を270Vまで向上することができる。

【0106】

また、図の如く、FET1のゲートドレイン端子間(Ct1-2-IN間)、FET1のゲートソース間(Ct1-2-OUT1間)、FET2のゲートドレイン間(Ct1-1-IN間)、FET2のゲートソース間(Ct1-

1-OUT 2間) に夫々保護素子200を接続すると、従来80Vであったスイッチ回路装置の最も低い静電破壊電圧を270Vに向上させることができる。

【0107】

この場合、共通入力端子パッドINPadはFET1、FET2の2つのFETの共通パッドとなっており、各制御端子はそれぞれ遠い位置にあるFETと接続する。このため、一例であるが、その接続手段である抵抗R1、R2は、それぞれ入力端子パッドINPadにL字型で、4辺とも近接して配置される。つまり入力端子パッドINPadに沿って、2つの保護素子200がそれぞれL字形状に接続した構造となっている。

【0108】

このように、複数の保護素子200がそれぞれ、同一パッドの少なくとも1辺に添って配置されても良い。

【0109】

上述の実施形態に示す接続例は一例である。パッド同士が近接するような場合は、保護素子の両端子とも、パッドに直接接続するN+領域とすることも可能である。すなわち、請求の範囲の記載によってのみ、規定されるものである。

【0110】

【発明の効果】

以上に詳述した如く、本発明に依れば以下の数々の効果が得られる。

【0111】

第1に、静電破壊しやすい、PN接合又は、ショットキ接合を含むFETの特に弱い接合となる端子間に、高濃度領域-絶縁領域-高濃度領域からなる保護素子を並列接続することにより、外部より印加される静電エネルギーをバイパスさせることができる。これによりFETの動作領域に至る経路途中で保護素子により静電エネルギーが放電されるので、保護素子が接続された端子間に対応する動作領域上の電極間に至る静電エネルギーが減衰し、静電破壊からFETを保護することができる。

【0112】

第2に、保護素子は、高濃度領域-絶縁領域-高濃度領域からなり、PN接合

を有さないため、保護素子自体の寄生容量が発生しない。被保護素子と同一基板で保護素子を作りこむことができ、寄生容量の増加をほとんど伴わず、従って高周波特性を劣化させずに、被保護素子の静電破壊を防ぐことができる。

【0113】

第3に被保護素子の端子と接続するパッドに近接して保護素子を接続することにより、静電エネルギーの印加直後に放電することができ、より静電破壊電圧の向上に寄与できる。

【0114】

第4に、被保護素子の端子から動作領域への経路途中に保護素子を接続することにより、最も効果的に、動作領域の静電破壊に弱い接合を静電破壊から保護できる。

【0115】

第5に、スイッチ回路装置においては、従来最も低い静電破壊電圧であった共通入力端子と制御端子間に保護素子を並列に接続することにより、共通入力端子－制御端子間の静電破壊電圧を大幅に向上することができる。

【0116】

第6に、スイッチ回路装置において制御端子－出力端子間にも保護素子を接続することにより、スイッチ回路装置全体の最低静電破壊電圧を向上できる効果がある。

【0117】

第7に、保護素子は、静電エネルギーを放電する面が、水平面となる保護ダイオードと異なり、垂直面になるため、チップ面積の増大をほとんど招くことなく、これを集積化することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明を説明するための（A）平面図、（B）断面図、（C）等価回路図である。

【図2】

本発明を説明するための概略図である。

【図 3】

本発明を説明するための断面図である。

【図 4】

本発明を説明するための断面図である。

【図 5】

本発明を説明するための (A) 平面図、(B) 断面図である。

【図 6】

本発明を説明するための平面図である。

【図 7】

本発明を説明するための断面図である。

【図 8】

本発明を説明するための (A) 平面図、(B) 等価回路図である。

【図 9】

本発明を説明するための等価回路図である。

【図 1 0】

本発明を説明するための (A) 平面図、(B) 断面図である。

【図 1 1】

本発明を説明するための特性図である。

【図 1 2】

本発明を説明するための平面図である。

【図 1 3】

従来技術を説明するための等価回路図である。

【図 1 4】

従来技術を説明するための平面図である。

【図 1 5】

従来技術を説明するための特性図である。

【符号の説明】

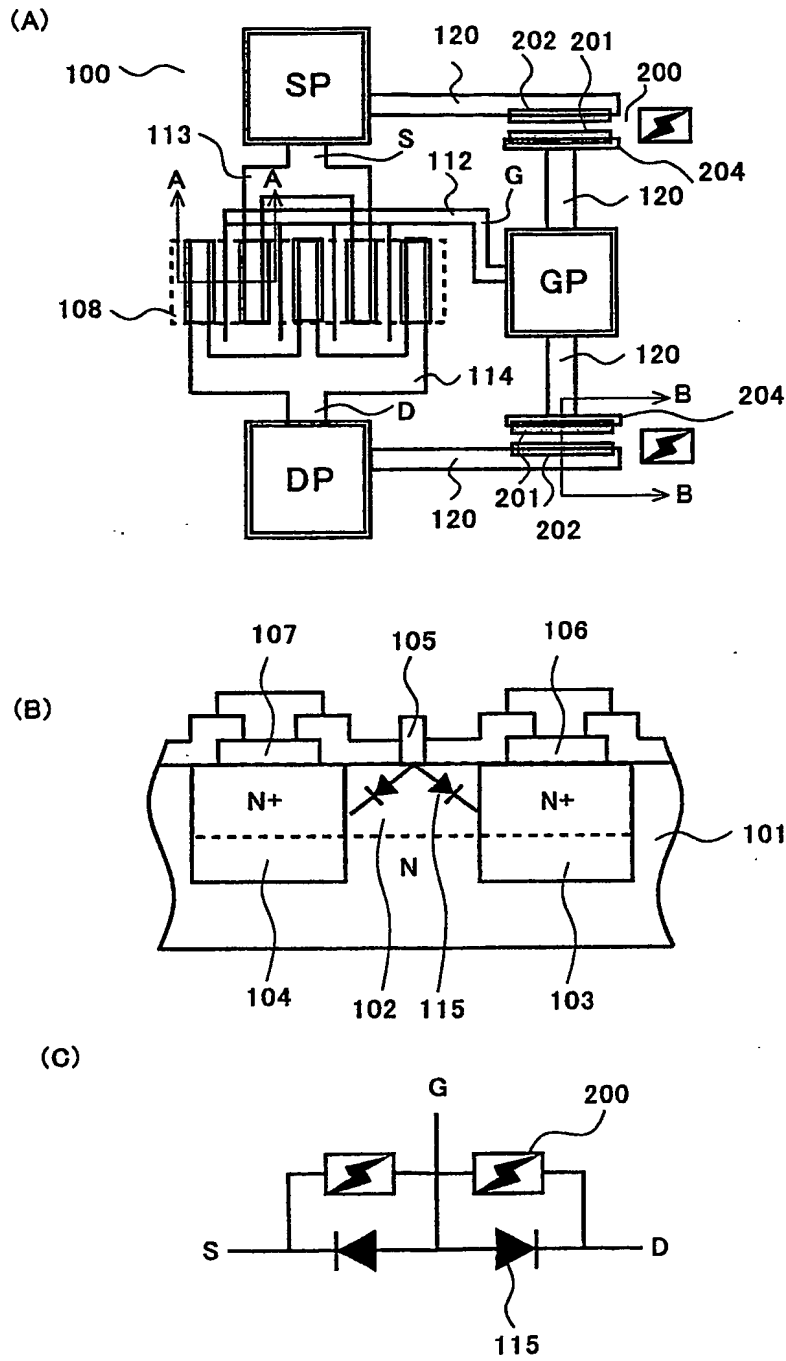
1 0 0 被保護素子

1 0 1	基板
1 0 2	動作層
1 0 3	ソース領域
1 0 4	ドレイン領域
1 0 5	ゲート電極
1 0 6	ソース電極
1 0 7	ドレイン電極
1 1 2	ゲート配線
1 1 3	ソース配線
1 1 4	ドレイン配線
1 1 5	ダイオード
1 2 0	配線
1 2 5	絶縁化層
2 0 0	保護素子
2 0 1	第 1 N + 型領域
2 0 2	第 2 N + 型領域
2 0 3	絶縁領域
2 0 3 a	半絶縁領域
2 0 3 b	絶縁化領域
2 0 4	金属電極
2 0 5	絶縁膜
2 0 6	金属層
3 1 2	動作領域
3 1 3	ソース電極
3 1 5	ドレイン電極
3 1 7	ゲート電極
3 2 0	ゲート金属層
3 3 0	パッド金属層
3 5 0	周辺 N + 型領域

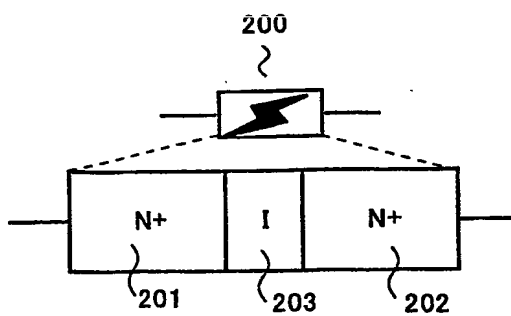
S ソース端子
 D ドレイン端子
 G ゲート端子
 SP ソースパッド
 DP ドレインパッド
 GP ゲートパッド
 IN 共通入力端子
 C t l - 1 制御端子
 C t l - 2 制御端子
 O U T 1 出力端子
 O U T 2 出力端子
 I N P a d 共通入力端子パッド
 C t l - 1 P a d 制御端子パッド
 C t l - 2 P a d 制御端子パッド
 O U T 1 P a d 出力端子パッド
 O U T 2 P a d 出力端子パッド

【書類名】 図面

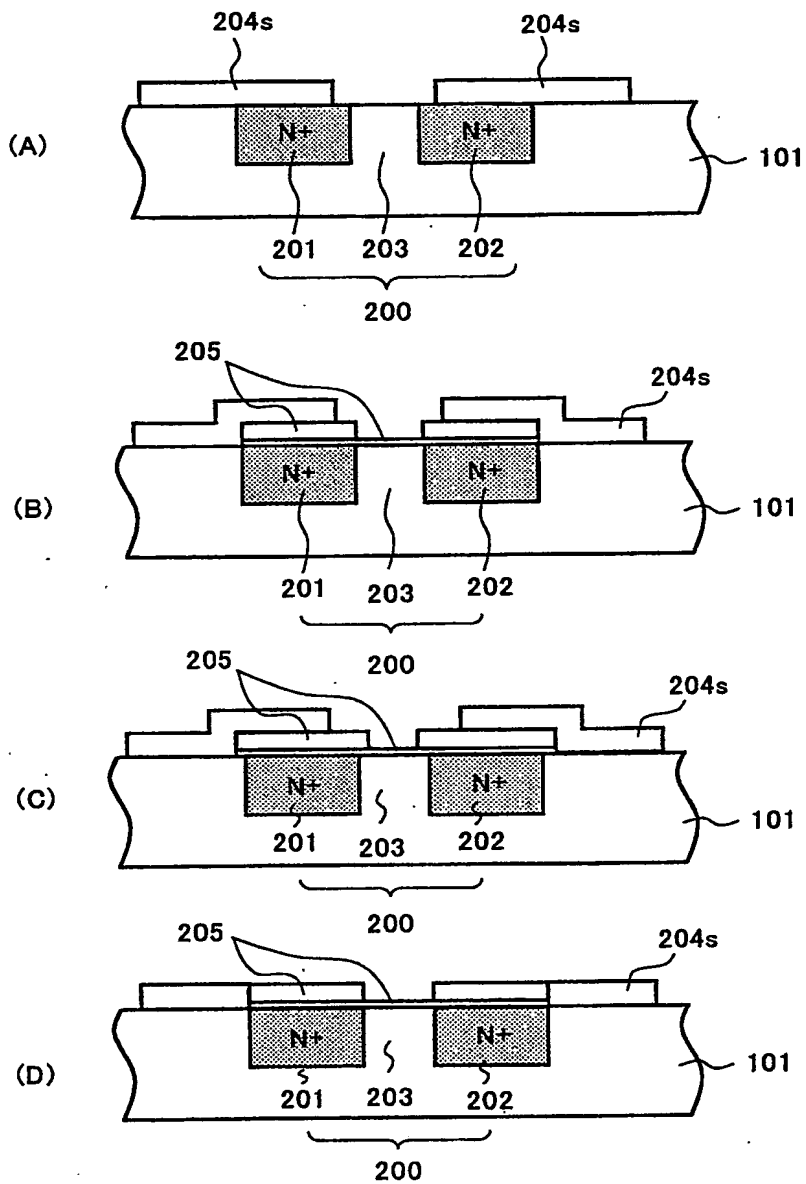
【図 1】



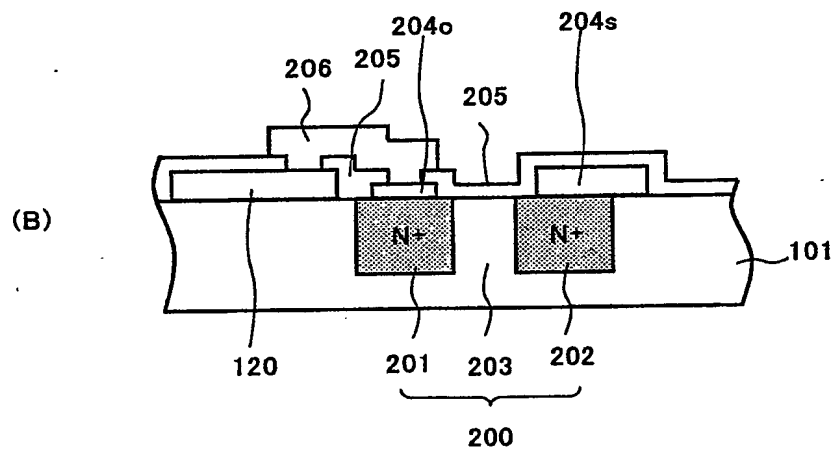
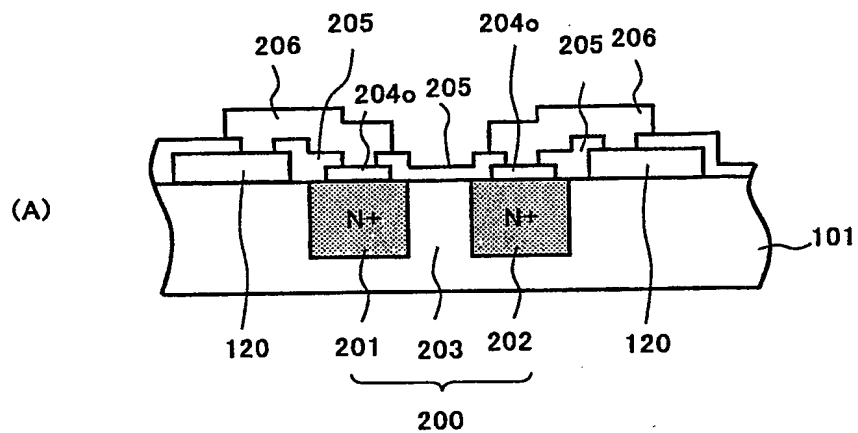
【図 2】



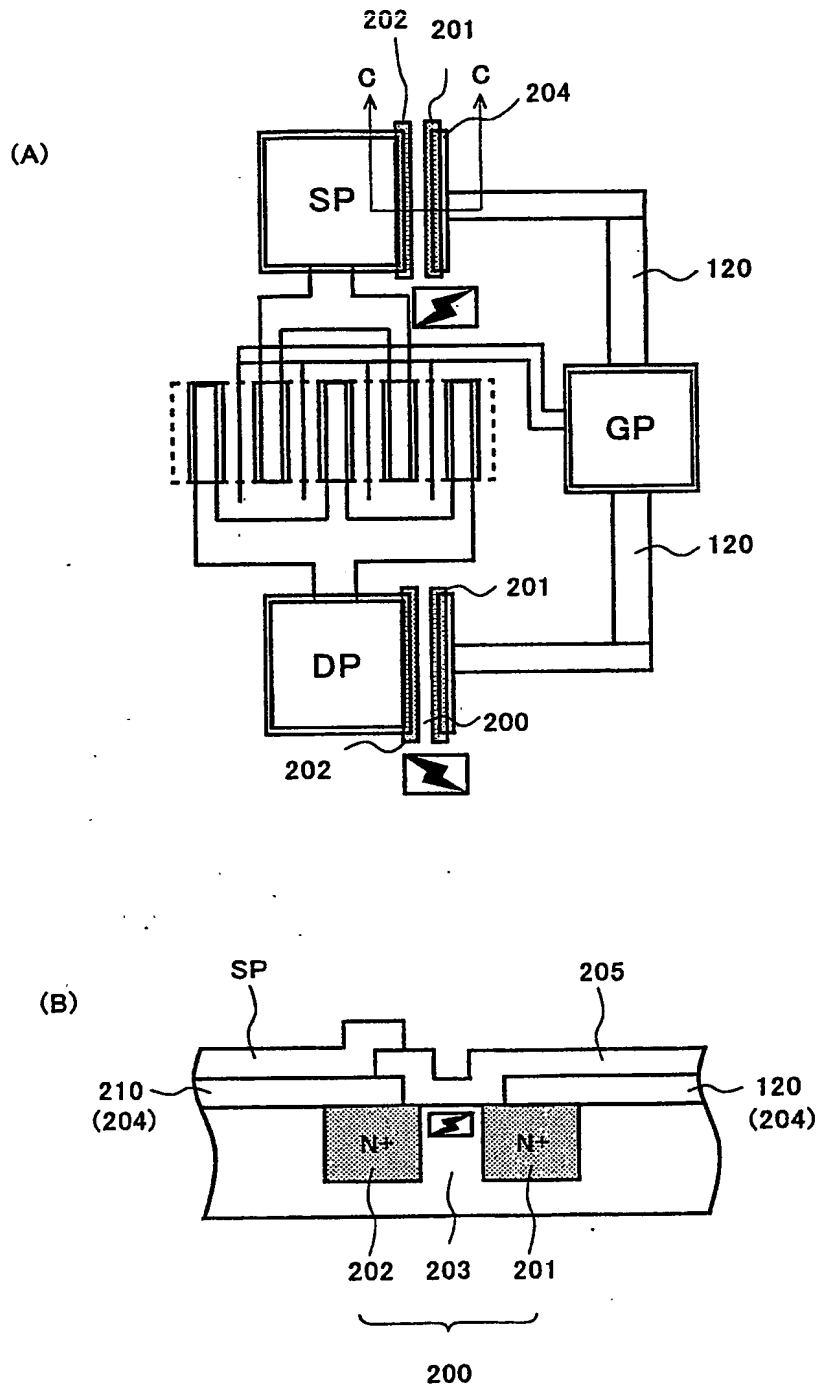
【図 3】



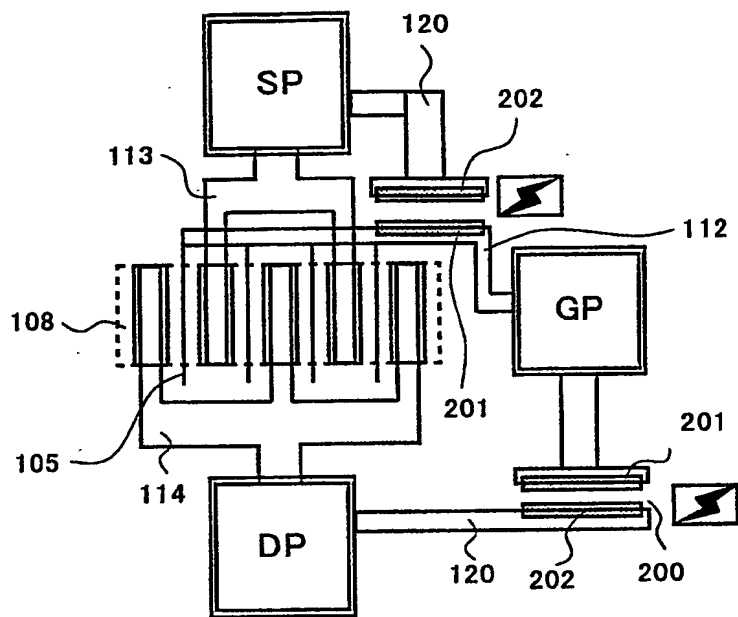
【図4】



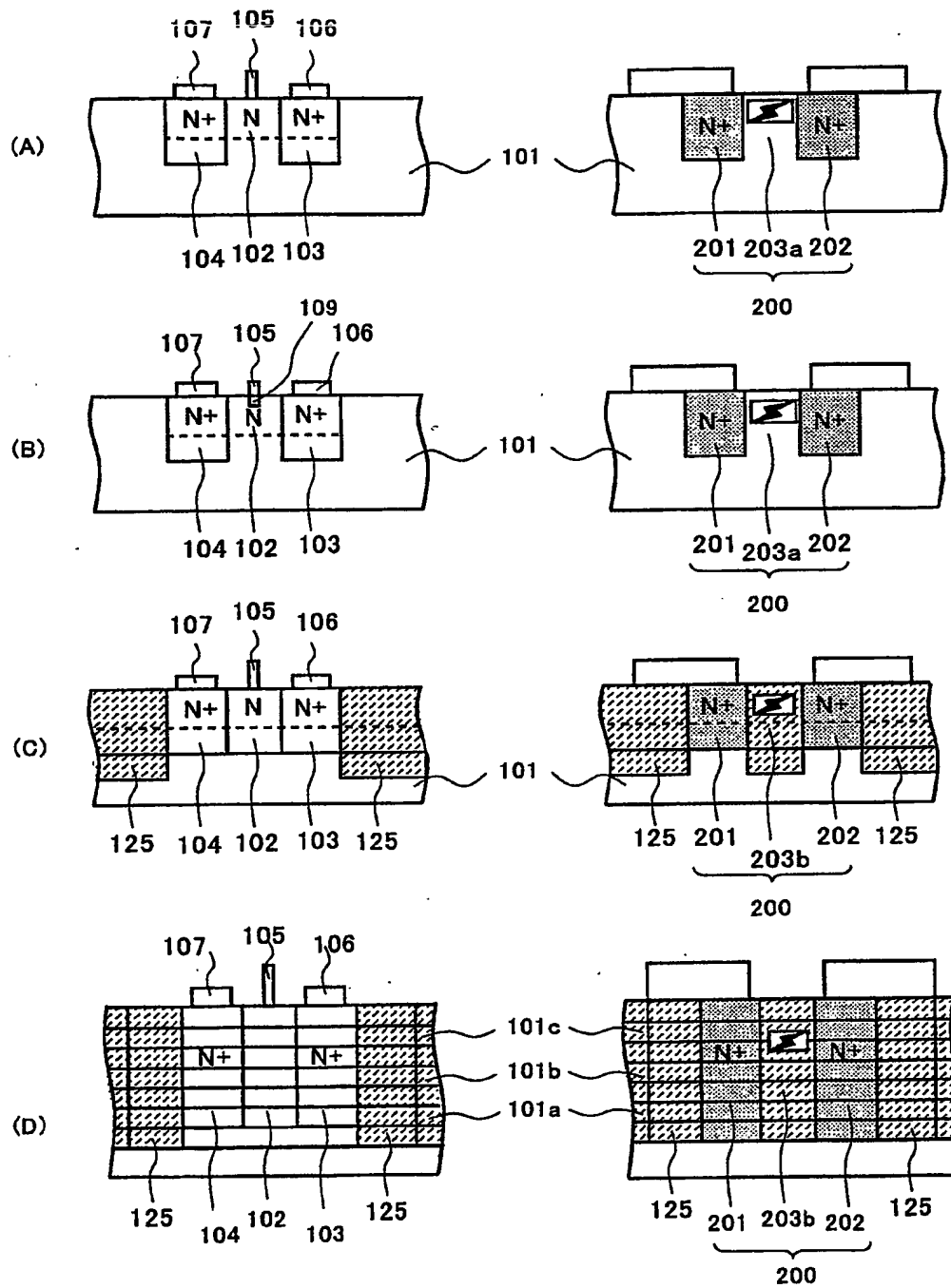
【図 5】



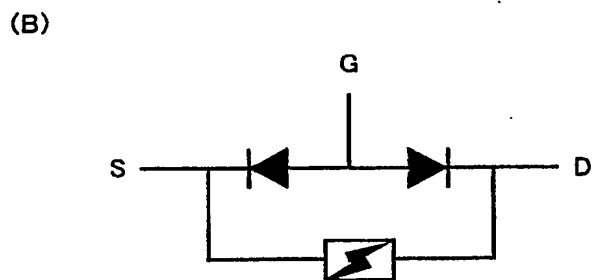
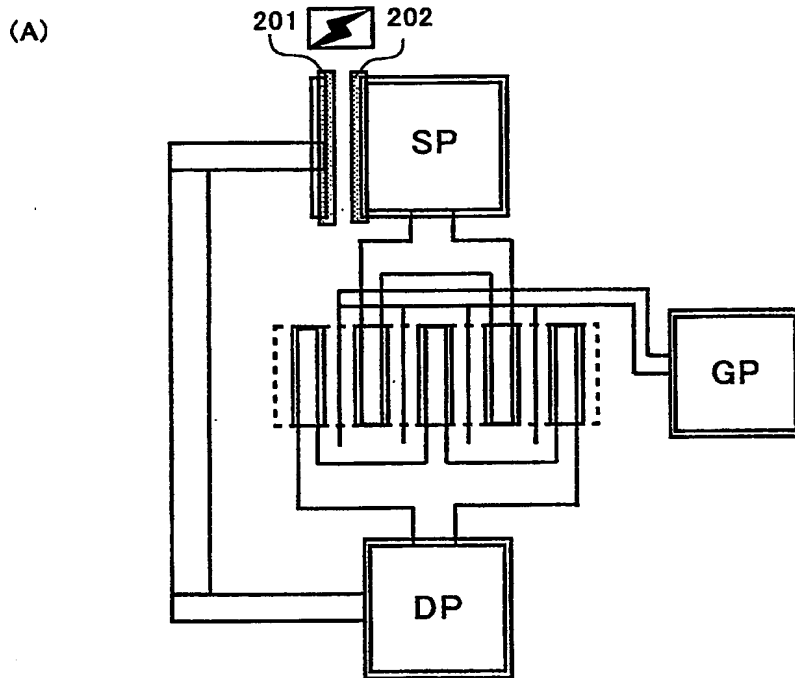
【図 6】



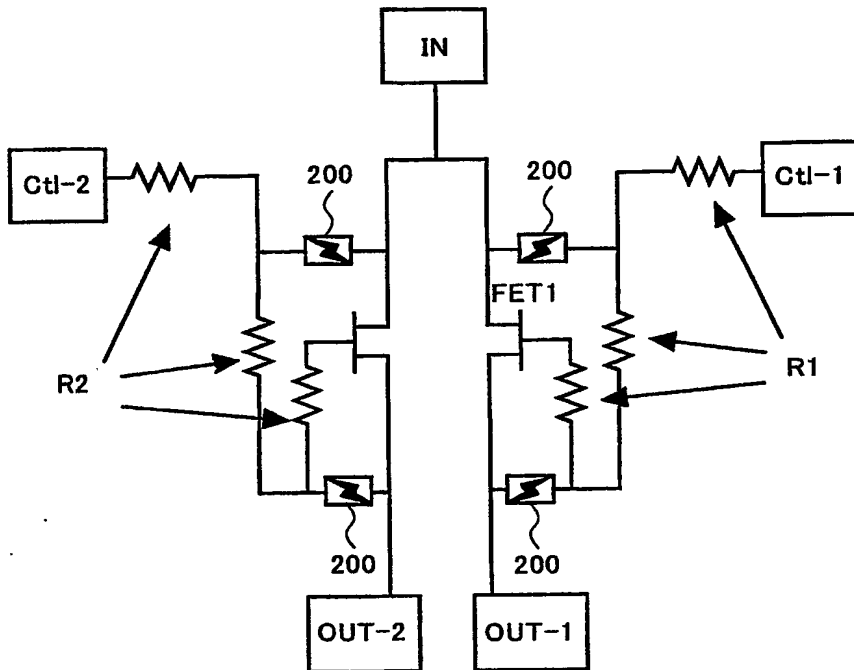
【図 7】



【図 8】

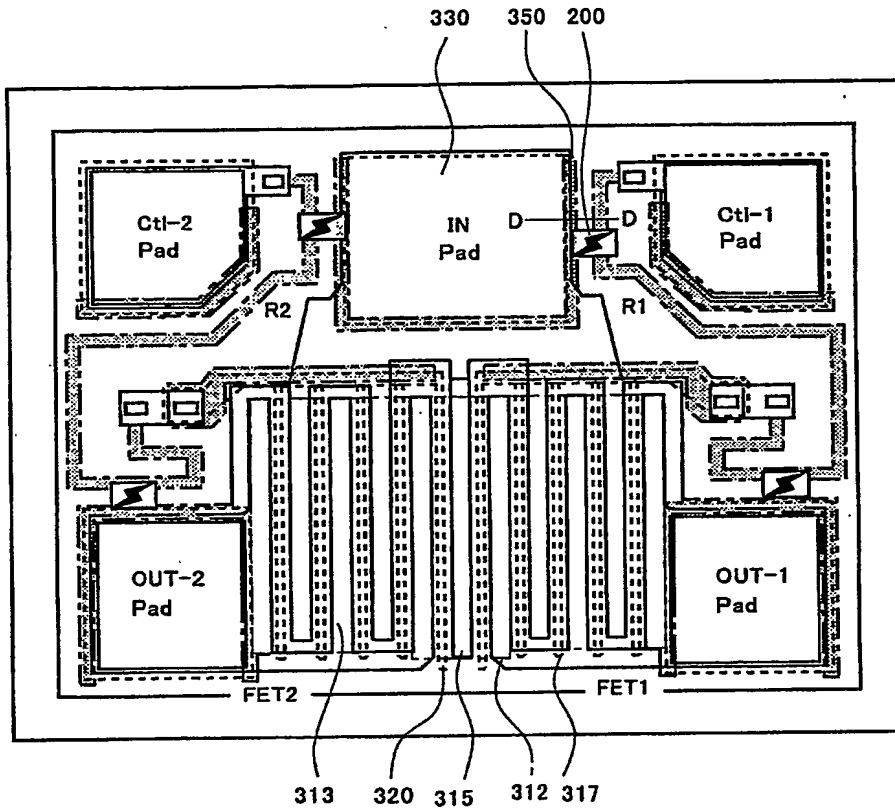


【図 9】

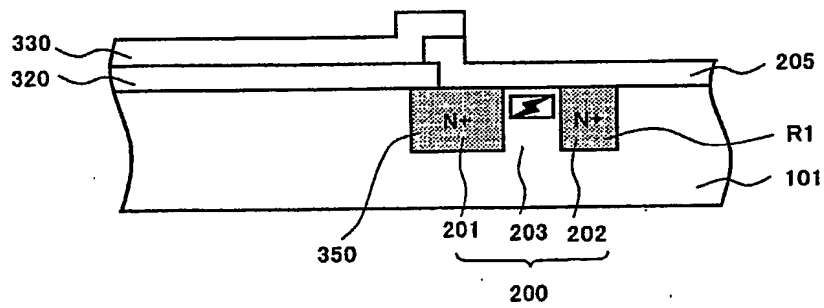


【図 1 0】

(A)



(B)

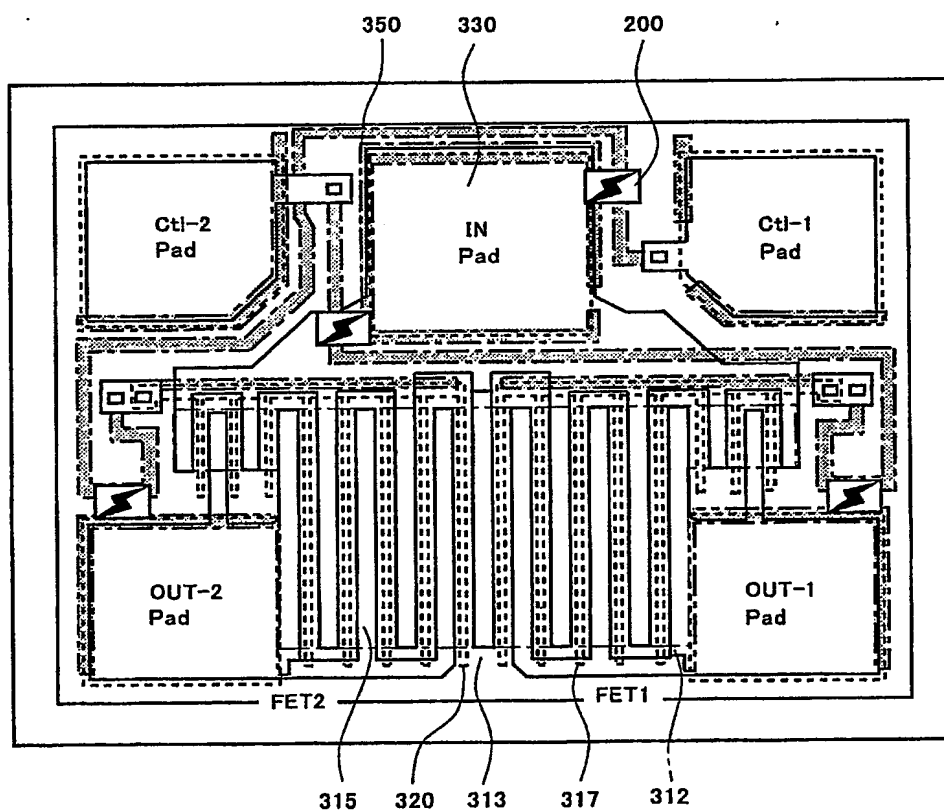


【図 1 1】

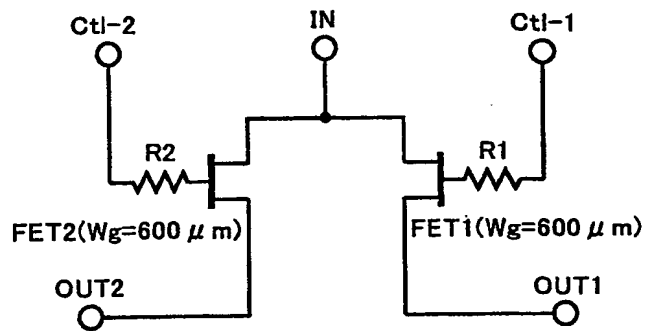
各端子間の静電耐量(単位V)

IN-Ctl-1	700
IN-Ctl-2	700
OUT1-Ctl-1	330
OUT2-Ctl-2	330

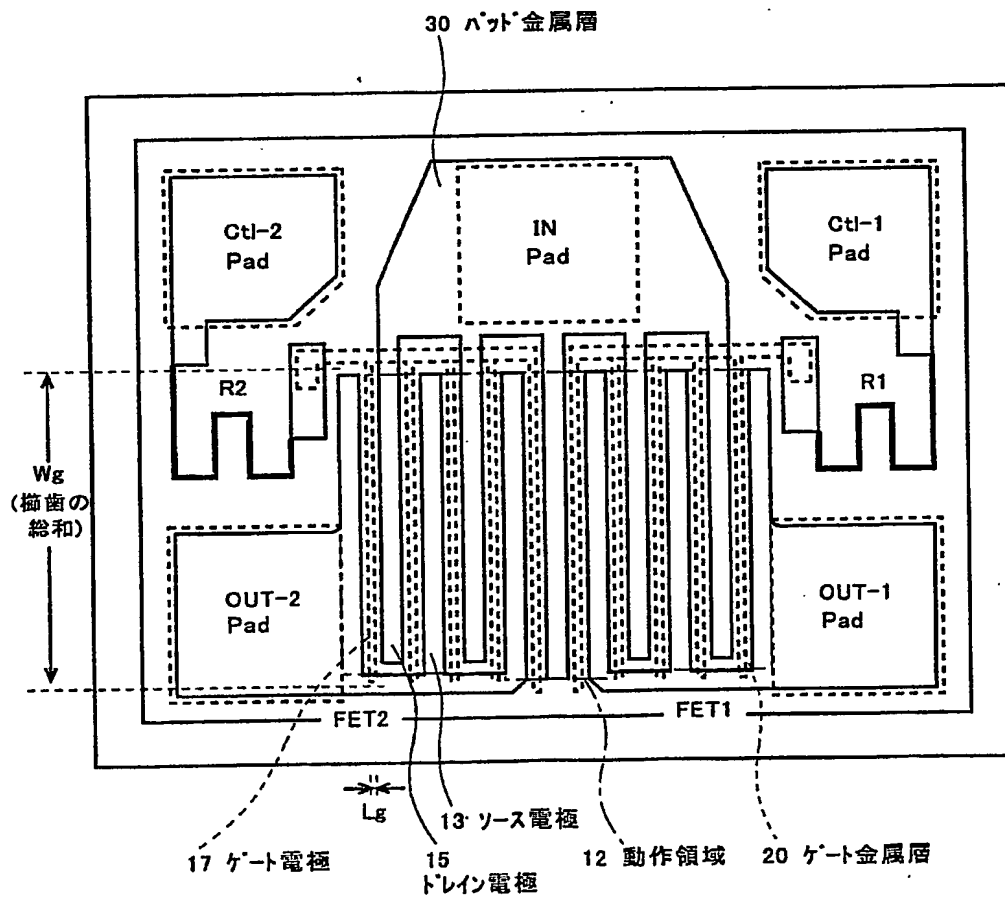
【図 1 2】



【図13】



【図14】



【図 1 5】

各端子間の静電耐量(単位V)

IN-Ctl-1	140
IN-Ctl-2	140
OUT1-Ctl-1	500
OUT2-Ctl-2	450

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 マイクロ波 F E T では、内在するショットキ接合容量または P N 接合容量が小さく、それらの接合が静電気に弱い。しかし、マイクロ波デバイスにおいては、保護ダイオードを接続することによる寄生容量の増加が、高周波特性の劣化を招き、その手法を取ることができなかったという問題があった。

【解決手段】 F E T の 2 端子間に第 1 N + 型領域、絶縁領域、第 2 N + 型領域からなる保護素子を並列に接続する。近接した第 1、第 2 N + 領域間で放電できるので、寄生容量を増やすことなく F E T の動作領域に至る静電エネルギーを減衰させることができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000001889]

1. 変更年月日

1993年10月20日

[変更理由]

住所変更

住 所

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

氏 名

三洋電機株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.